

**Penentuan Sampling Minimal Dalam Eksperimen**  
***Life-Testing* menggunakan *Order Statistics***

Oleh:

**Budhi Handoko**

*Staff Pengajar Jurusan Statistika*  
*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*  
*Universitas Padjadjaran Bandung*  
Email : [budhihandoko@yahoo.com](mailto:budhihandoko@yahoo.com)

**ABSTRAK**

Analisis reliabilitas merupakan salah satu alat statistika yang digunakan untuk mengukur tingkat berfungsinya suatu alat/komponen. Suatu alat/komponen dikatakan reliabel jika masih berfungsi dengan baik dalam suatu jangka waktu tertentu. Selama ini proses pengukuran *lifetime* lampu pijar yang diproduksi PT Phillips Ralin Electronics Surabaya dilakukan sampai semua lampu yang diambil sebagai sampel mati, sehingga proses ini memerlukan waktu dan biaya yang cukup besar.

Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk mengurangi waktu dan biaya dalam eksperimen *life-testing* adalah dengan menentukan sampling minimal dalam eksperimen *life-testing* lampu pijar yang bisa diperoleh berdasarkan urutan kerusakan yang terjadi. Sehingga proses pengukuran *lifetime* lampu pijar tidak perlu dilakukan sampai semua lampu yang diambil sebagai sampel mati. Hal ini bisa didapatkan dengan cara memperoleh momen order ke- $k$  dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan distribusi data waktu kerusakan dari *lifetime* lampu pijar.

Berdasarkan momen order ke- $k$  dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan distribusi waktu kerusakan Weibull, dapat diketahui sampling minimal yang dibutuhkan dalam eksperimen *life-testing* lampu pijar berdasarkan spesifikasi lampu 220V/40W/A60/CL/E27 adalah 18 (urutan kerusakan ke-18 dari 26 sampel lampu). Sehingga penghematan yang bisa dilakukan adalah sebesar 39,3 %.

Kata Kunci: Distribusi weibull, Fungsi *hazard rate*, *Order statistics*, Reliabilitas.

## 1. Pendahuluan

Eksperimen *life-testing* merupakan suatu percobaan yang bertujuan untuk mengukur masa hidup suatu komponen dalam suatu waktu tertentu pada sebuah industri pembuatan komponen tersebut. Sebelum suatu komponen/produk dipasarkan, maka harus diuji terlebih dahulu apakah *lifetime* (masa hidup)-nya sudah memenuhi standar nasional Indonesia atau belum. PT. Phillip Ralin Electronics Surabaya merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi lampu pijar. Selama ini proses pengukuran *lifetime* lampu dilakukan sampai semua lampu yang diambil sebagai sampel mati, sehingga proses ini memerlukan waktu dan biaya yang cukup besar.

Waktu dan biaya dalam eksperimen *life-testing* dapat dikurangi dengan cara menentukan sampling minimal dalam lampu pijar yang bisa diperoleh berdasarkan urutan kerusakan yang terjadi. Sehingga proses pengukuran *lifetime* lampu pijar tidak perlu dilakukan sampai semua bola lampu yang diambil sebagai sampel mati. Hal ini bisa didapatkan dengan cara memperoleh momen order ke- $k$  dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan distribusi data waktu kerusakan dari *lifetime*-nya. Berdasarkan pengamatan yang terurut dalam pengukuran *lifetime* ini bisa diperoleh informasi mengenai fungsi *hazard rate*. Nelson (1982) memperkenalkan fungsi *hazard rate* yang diperoleh dengan menggunakan plot.

Fungsi-fungsi *hazard rate* lainnya yaitu *bathtub-shaped* yang diperkenalkan pertama kali oleh Hjorth (1980) dan kemudian dikembangkan oleh Dhillon (1983). Bentuk lain dari fungsi *hazard rate* dikaji oleh Lai dan Xie (2003) yang mempunyai distribusi laju kerusakan merupakan modifikasi dari distribusi Weibull (*Modified Weibull Distribution*). Menurut Pal (2005), sulit untuk menentukan momen dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan fungsi-fungsi hazard tersebut.

Oleh karena itu, Pal (2005) memberikan alternatif lain dari jenis fungsi *hazard rate* yang dapat digunakan untuk mencari fungsi densitas dari *order statistics* yaitu fungsi *hazard rate* konstan, fungsi *hazard rate* yang meningkat secara linier, dan fungsi *hazard rate* yang meningkat secara eksponensial. Makalah ini akan membahas mengenai momen order ke- $k$  dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan distribusi waktu kerusakan Weibull, untuk menentukan sampling minimal dalam eksperimen *life-testing* lampu pijar yang akan diterapkan pada data *lifetime* lampu pijar yang diproduksi oleh PT. Phillips Ralin Electronics Surabaya.

## 2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan salah satu dari distribusi yang dapat digunakan untuk memodelkan suatu fenomena kerusakan dengan *hazard rate*  $h(t)$  tergantung pada usia pakai suatu alat/komponen tersebut. Misalnya jangka waktu kerusakan dari kapasitor, *lifetime* lampu pijar, dan sebagainya. Distribusi Weibull yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi Weibull dengan dua parameter yaitu  $\beta$  dan  $\theta$ .

Distribusi Weibull dua parameter dapat merepresentasikan *hazard rate* yang meningkat, konstan, dan menurun (Evans, Hastings, dan Peacock, 2000), dengan fungsi densitas peluang sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^{\beta} \right],$$

dengan:

$t$  = waktu ,  $t > 0$

$\beta$  = parameter bentuk,  $\beta > 0$

$\theta$  = parameter skala,  $\theta > 0$

## 3. Order Statistics

Misalkan  $T$  adalah variabel acak nonnegatif yang mencerminkan masa hidup setiap alat/komponen. Maka pengamatan eksperimen akan dinyatakan dengan  $T_{1:n}, T_{2:n}, \dots, T_{r:n}$ . Jika  $T_{r:n}$  menyatakan waktu kerusakan dari alat/komponen ke- $r$  dari ukuran sampel  $n$ , yang mempunyai CDF  $F(t)$  dan pdf  $f(t)$ , dan fungsi *hazard rate*  $h(t)$ .

Maka fungsi densitas dari  $T_{r:n}$  adalah sebagai berikut:

$$f_{r:n}(t) = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} \{F(t)\}^{r-1} \{1-F(t)\}^{n-r} f(t)$$

dengan:

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \int_0^t h(t) dt \right] = 1 - \exp[-H(t)], \quad 0 < t < \infty \quad f(t) = h(t) \{1-F(t)\} = h(t) \exp[-H(t)], \quad 0 < t < \infty$$

sehingga:

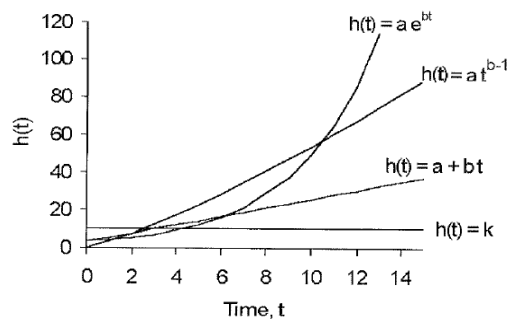
$$f_{r:n}(t) = C_{r,n} \{e^{-H(t)}\}^{n-r+1} \{1-e^{-H(t)}\}^{r-1} h(t)$$

dengan :

$$C_{r,n} = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(r)\Gamma(n-r+1)}$$

#### 4. Momen Order ke-k dari Distribusi Weibull

Misalkan  $h(t)$  menyatakan fungsi laju kerusakan atau fungsi *hazard rate* (hrf) pada waktu ke- $t$ . Terdapat berbagai jenis fungsi hazard seperti konstan, meningkat secara linier, meningkat secara eksponensial dll. Gambar di bawah ini menunjukkan beberapa fungsi *hazard rate* umum.



**Gambar 1** Grafik fungsi *hazard rate* secara umum

Fungsi kumulatif hazard (Chrf) merupakan integral dari fungsi *hazard* yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$H(t) = \int_0^t h(t) dt$$

Berdasarkan berbagai jenis fungsi *hazard*, akan didapatkan berbagai jenis distribusi *life-testing* untuk waktu kerusakan seperti distribusi eksponensial, Weibull, Rayleigh, dll.

Berikut ini adalah contoh fungsi *hazard rate* yang menunjukkan waktu kerusakan berdistribusi Weibull.

$$h(t) = at^{b-1}, \quad a, b > 0$$

Fungsi densitas *order statistics* ke-  $r$  dari  $T_{r:n}$ , dengan:  $1 \leq r \leq n$  adalah:

$$f_{r:n}(t) = C_{r:n} a t^{b-1} e^{-(n-r+1)\frac{a}{b}t^b} (1 - e^{-\frac{a}{b}t^b})^{r-1}$$

dengan :

$$a = \frac{\beta}{\theta^\beta}, \quad \theta = \text{parameter skala dari distribusi Weibull, } \theta > 0$$

$$b = \beta = \text{parameter bentuk dari distribusi Weibull, } \beta > 0$$

Setelah fungsi densitas *order statistics* dari distribusi Weibull diperoleh, selanjutnya momen order ke- $k$  ( $\mu_{r:n}^{(k)}$ ) akan dijabarkan melalui langkah-langkah berikut ini:

$$\begin{aligned}\mu_{r:n}^{(k)} &= \int_0^{\infty} t^k f_{r:n}(t) dt \\ &= C_{r,n} \int_0^{\infty} t^k a \frac{t^b}{t} e^{-(n-r+1)\frac{a}{b}t^b} \left[ 1 - e^{-\frac{a}{b}t^b} \right]^{r-1} dt\end{aligned}$$

misalkan

$$\begin{aligned}u &= t^b \rightarrow du = b t^{b-1} dt \\ t &= u^{\frac{1}{b}} \rightarrow dt = \frac{1}{b} u^{\frac{1}{b}-1} du\end{aligned}$$

sehingga:

$$\begin{aligned}\mu_{r:n}^{(k)} &= C_{r,n} \int_0^{\infty} u^{\frac{k}{b}} \frac{au}{u^{\frac{1}{b}}} e^{-(n-r+1)\frac{a}{b}u} \left[ 1 - e^{-\frac{a}{b}u} \right]^{r-1} \frac{1}{b} u^{\frac{1}{b}-1} du \\ &= C_{r,n} \frac{a}{b} \int_0^{\infty} u^{\frac{k}{b}} e^{-(n-r+1)\frac{a}{b}u} \left[ 1 - e^{-\frac{a}{b}u} \right]^{r-1} du\end{aligned}\quad (1)$$

Untuk menyederhanakan (1) di atas diperlukan rumusan teorema Binomial. Menurut Taylor dan Karlin (1998), rumusan teorema Binomial sebagai berikut:

$$\left( 1 - e^{-\frac{a}{b}u} \right)^{r-1} = \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} e^{-\frac{a}{b}uj} \quad (2)$$

Apabila (2) disubstitusikan ke (1) akan diperoleh

$$\begin{aligned}\mu_{r:n}^{(k)} &= C_{r,n} \frac{a}{b} \int_0^{\infty} u^{\frac{k}{b}} e^{-(n-r+1)\frac{a}{b}u} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} e^{-\frac{a}{b}uj} du \\ &= C_{r,n} \frac{a}{b} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \int_0^{\infty} u^{\frac{k}{b}} e^{-(n-r+1+j)\frac{a}{b}u} du\end{aligned}\quad (3)$$

hasil pada (3) di atas dapat ditulis seperti berikut ini:

$$\mu_{r:n}^{(k)} = C_{r,n} \frac{a}{b} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \int_0^{\infty} u^{\left(\frac{k}{b}+1\right)-1} e^{-(n-r+1+j)\frac{a}{b}u} du \quad (4)$$

Integrasi pada (4) akan diselesaikan menggunakan fungsi gamma dengan memisalkan :

$$\begin{aligned}\frac{k}{b} + 1 &= \alpha, \text{ dan } -(n-r+1+j)\frac{a}{b} = -\frac{1}{\beta_j} \\ \text{atau } \beta_j &= -\frac{b}{a(n-r+1+j)}\end{aligned}$$

Mengingat sifat pdf dari gamma (Casela dan Berger, 2002) adalah:

$$\int_0^{\infty} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta_j^\alpha} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta_j}} dx = 1$$

$$\int_0^{\infty} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta_j}} dx = \Gamma(\alpha)\beta_j^\alpha$$

Jika  $x = u$ , maka integrasi pada (4) bisa dirubah ke dalam bentuk fungsi gamma menjadi:

$$\int_0^{\infty} u^{\left(\frac{k}{b}+1\right)-1} e^{-\frac{(n-r+1+j)a}{b}u} du = \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \left[\frac{b}{a(n-r+1+j)}\right]^{\frac{k}{b}+1} \quad (5)$$

Apabila (5) disubstitusikan ke (4), maka rumusan  $\mu_{r:n}^{(k)}$  menjadi:

$$\begin{aligned} \mu_{r:n}^{(k)} &= C_{r,n} \frac{a}{b} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \left[\frac{b}{a(n-r+1+j)}\right]^{\frac{k}{b}+1} \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \\ &= C_{r,n} \frac{a}{b} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \left[\frac{b}{a(n-r+1+j)}\right]^{\frac{k}{b}} \left[\frac{b}{a(n-r+1+j)}\right] \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \\ &= C_{r,n} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \left[\frac{b}{a(n-(r-1-j))}\right]^{\frac{k}{b}} \left[\frac{1}{(n-(r-1-j))}\right] \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \end{aligned}$$

Misalkan:

$i = r-1-j$ , sehingga  $j = r-1-i$

jika  $j = 0$ , maka  $i = r-1$

untuk  $j = r-1$ , maka  $i = 0$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \mu_{r:n}^{(k)} &= C_{r,n} \sum_{i=0}^{r-1} (-1)^{r-1-i} \binom{r-1}{r-1-i} \left[\frac{b}{a(n-i)}\right]^{\frac{k}{b}} \left[\frac{1}{(n-i)}\right] \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \\ &: \\ &= C_{r,n} \sum_{i=0}^{r-1} (-1)^{r-1-i} \binom{r-1}{i} \left[\frac{b}{a(n-i)}\right]^{\frac{k}{b}} \left[\frac{1}{(n-i)}\right] \Gamma\left(\frac{k}{b}+1\right) \end{aligned}$$

Dari tahapan-tahapan yang dilakukan di atas diperoleh momen order ke-k ( $\mu_{r:n}^k$ ) adalah sebagai berikut:

$$\mu_{r:n}^{(k)} = C_{r,n} \sum_{i=0}^{r-1} (-1)^{r-1-i} \binom{r-1}{i} \left[ \frac{b}{a(n-i)} \right]^{\frac{k}{b}} \left[ \frac{1}{(n-i)} \right] \Gamma\left(\frac{k}{b} + 1\right) \quad (6)$$

Rata-rata dan standar deviasi dihitung dengan menggunakan rumusan berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{r:n} &= \mu_{r:n}^{(1)} \\ \sigma_{r:n} &= \mu_{r:n}^{(2)} - [\mu_{r:n}^{(1)}]^2 \end{aligned}$$

## 5. Menentukan Ukuran Sampel Minimal

Sampling minimal dalam eksperimen *life-testing* untuk menguji masa hidup lampu yang diproduksi oleh mesin B1 unit 10 dengan spesifikasi 220V/40W/A60/CL/E27 di PT Phillips Ralin Electronics Surabaya dapat dihitung dengan menggunakan momen order ke-k ( $\mu_{r:n}^{(k)}$ ) dari fungsi densitas *order statistics* yang sesuai dengan distribusi data waktu kerusakan dari *lifetime* lampu pijar tersebut yaitu Weibull. Dari hasil estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan bantuan paket program Easyfit 4.3 diperoleh nilai parameter bentuk ( $\beta$ ) = 4,9888 dan nilai parameter skala ( $\theta$ ) = 1230,9.

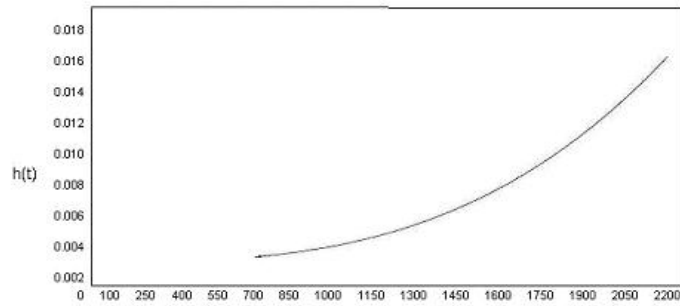
Parameter skala yang digunakan dalam analisis selanjutnya adalah  $a$ , nilai  $a = \frac{\beta}{\theta^\beta}$ , dengan  $\theta$  = parameter skala dari distribusi Weibull,  $\theta > 0$ , dan  $\beta$  merupakan parameter bentuk dari distribusi Weibull,  $\beta > 0$ . Sehingga nilai  $b = \beta = 4,9888$  dan nilai

$$a = \frac{\beta}{\alpha^\beta} = \frac{4,9888}{1230,9^{4,9888}} = 1,9120 \times 10^{-15}.$$

Fungsi *hazard rate* dari data *lifetime* lampu yang menunjukkan waktu kerusakan berdistribusi Weibull adalah:

$$\begin{aligned} h(t) &= at^{b-1} \\ &= 1,9120 \times 10^{-15} t^{3,9888} \end{aligned}$$

yang mempunyai plot seperti ditunjukkan pada Gambar 2



**Gambar 2** Grafik Fungsi *Hazard Rate*

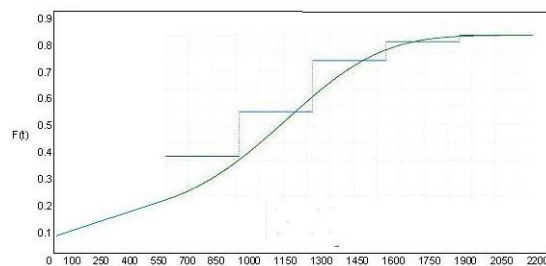
Fungsi *hazard rate* kumulatifnya adalah

$$\begin{aligned} H(t) &= \frac{a}{b} t^b \\ &= \frac{1,9120 \times 10^{-15}}{4,9888} t^{4,9888} \\ &= 3,83 \times 10^{-16} t^{4,9888} \end{aligned}$$

Fungsi distribusi kumulatif-nya adalah

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - \exp[-H(t)] \\ &= 1 - \exp\left(2,83 \times 10^{-16} t^{4,9888}\right) \end{aligned}$$

Fungsi distribusi kumulatif mempunyai plot seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



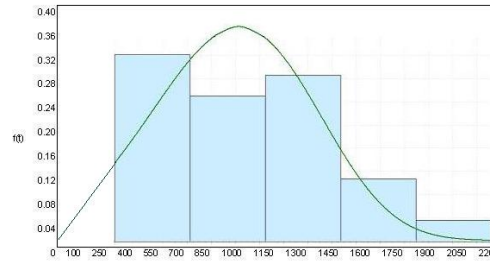
**Gambar 3** Grafik Fungsi Distribusi Kumulatif

Berdasarkan fungsi *hazard rate* dan fungsi distribusi kumulatif yang telah diperoleh sebelumnya maka fungsi densitas-nya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} f(t) &= h(t)\{1 - F(t)\} \\ &= 1,9120 \times 10^{-15} t^{3,9888} \cdot \exp\left(3,83 \times 10^{-13} t^{4,9888}\right) \end{aligned}$$

dengan plot fungsi densitas disajikan pada Gambar 4 berikut





**Gambar 4** Grafik Fungsi Densitas

Sehingga fungsi densitas *order statistics* dari data *lifetime* lampu adalah:

$$\begin{aligned}
 f_{r:n}(t) &= C_{r:n} a^{b-1} e^{-\frac{(n-r+1)a}{b} t^b} \left( \frac{a}{b} t^{b-1} \right) \left( 1 - e^{-\frac{a}{b} t^b} \right)^{r-1} \\
 &= C_{r:n} 1,9120 \times 10^{-15} t^{3,9888} e^{-\frac{(n-r+1)3,83 \times 10^{-16} t^{4,0495}}{b}} \left( 1 - e^{-\frac{3,83 \times 10^{-16} t^{4,0495}}{b}} \right)^{r-1}
 \end{aligned}$$

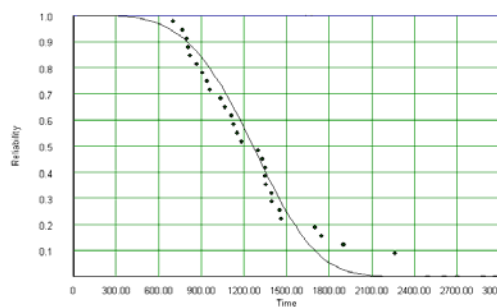
dengan:

$$C_{r:n} = \frac{26!}{(18-1)!(26-18)!} = 28.120.950$$

Fungsi reliabilitas dari data adalah

$$\begin{aligned}
 R(t) &= 1 - F(t) \\
 &= 1 - \left[ 1 - \exp\left(2,83 \times 10^{-16} t^{4,9888}\right) \right] \\
 &= \exp\left(2,83 \times 10^{-16} t^{4,9888}\right)
 \end{aligned}$$

dengan plot grafik fungsi reliabilitas ditampilkan pada Gambar 5



**Gambar 5** Grafik Fungsi Reliabilitas

Dengan menggunakan paket program MATLAB, versi 6.5, nilai  $a$ , dan  $b$  disubstitusikan ke (8), sehingga diperoleh nilai rata-rata waktu terjadinya kerusakan bola lampu pijar untuk urutan kerusakan lampu ( $r$ ) dan ukuran sampel ( $n$ ) sejumlah 26. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Nilai Rata-rata Waktu Terjadinya  
Kerusakan Bola Lampu Pijar (jam) dan Standar Deviasinya

| r  | $\mu_{r:n}$ | $\sigma_{r:n}$ | r         | $\mu_{r:n}$   | $\sigma_{r:n}$ |
|----|-------------|----------------|-----------|---------------|----------------|
| 1  | 588,2       | 135,0          | 14        | 1155,6        | 63,9           |
| 2  | 708,9       | 108,3          | 15        | 1180,6        | 63,4           |
| 3  | 783,2       | 95,4           | 16        | 1205,7        | 63,1           |
| 4  | 839,1       | 87,5           | 17        | 1231,0        | 62,8           |
| 5  | 885,0       | 82,0           | <b>18</b> | <b>1256,9</b> | <b>62,9</b>    |
| 6  | 924,7       | 77,9           | 19        | 1283,7        | 63,4           |
| 7  | 960,2       | 74,6           | 20        | 1311,7        | 63,9           |
| 8  | 992,6       | 72,1           | 21        | 1341,6        | 64,9           |
| 9  | 1022,7      | 70,0           | 22        | 1374,2        | 66,5           |
| 10 | 1051,2      | 68,3           | 23        | 1410,9        | 69,1           |
| 11 | 1078,4      | 66,8           | 24        | 1454,3        | 73,3           |
| 12 | 1104,7      | 65,7           | 25        | 1510,5        | 81,2           |
| 13 | 1130,4      | 64,7           | 26        | 1600,6        | 101,2          |

Berdasarkan Tabel 1 tersebut,  $\mu_{r:n}$  adalah nilai rata-rata waktu terjadinya kerusakan bola lampu pada urutan ke- $r$  untuk sejumlah  $n$  sampel bola lampu, sedangkan  $\sigma_{r:n}$  adalah standar deviasinya. Untuk  $r = 1$ , artinya adalah rata-rata waktu terjadinya kerusakan pertama dari 26 bola lampu adalah 588,2 jam dengan standar deviasi-nya 135 jam. Untuk nilai  $r = 2$ , rata-rata waktu terjadinya kerusakan kedua dari 26 bola lampu adalah 708,9 jam dengan standar deviasi-nya 108,3 jam, demikian seterusnya sampai dengan kerusakan bola lampu yang terakhir. Eksperimen *life-testing* akan dihentikan ketika rata-rata kerusakan bola lampu melebihi ambang nilai maksimum dari Standard Nasional Indonesia (SNI) yaitu 1250 jam yang terjadi pada kerusakan ke-18 dengan rata-rata waktu kerusakan 1256,9 jam dan standar deviasinya 62,9 jam. Sehingga dari sebanyak 26 sampel bola lampu yang seharusnya digunakan dalam eksperimen, ternyata sudah cukup menggunakan sampel sebanyak 18 bola lampu saja.

Sehingga eksperimen *life-testing* untuk menguji masa hidup lampu pijar spesifikasi 220V/40W/A60/CL/E27 diperlukan minimal 18 bola lampu, tanpa

mengurangi informasi apabila menggunakan ke-26 sampel lampu tersebut. Dengan demikian, dapat mengurangi waktu dan biaya yang dikeluarkan dalam melakukan eksperimen *life-testing*. Penghematan yang dapat dilakukan dalam menerapkan metode ini adalah dapat menghemat waktu dalam melakukan eksperimen *life-testing* dan juga dapat menghemat jumlah bola lampu yang digunakan dalam eksperimen *life-testing* yaitu sebesar 30,77% .

## 6. Kesimpulan

Jumlah sampling minimal yang seharusnya diperlukan untuk eksperimen *life-testing* dari lampu pijar di PT Phillips Ralin Electronics yang diproduksi pada mesin B1 unit 10 dengan spesifikasi lampu pijar 220V/40W/A60/CL/E27 adalah 18 dengan rata-rata waktu kerusakan 1256,9 jam dan standar deviasinya 62,9 jam. Hal ini dapat diartikan bahwa pengujian eksperimen *life-testing* dari lampu pijar ini dapat dihentikan ketika rata-rata kerusakan bola lampu melebihi nilai maksimum dari Standard Nasional Indonesia (SNI) yaitu 1250 jam yang terjadi pada urutan kerusakan ke-18. Sehingga pengujian *life-testing* tidak perlu dilakukan sampai semua sampel sebanyak 26 mati, tetapi perusahaan tetap memperoleh informasi mengenai *lifetime* lampu yang sesuai dengan SNI dan dapat menghemat waktu dan biaya. Penghematan jumlah bola lampu yang dapat dilakukan sebesar 30,77%.

## 7. Daftar Pustaka

- Casela, G. Dan Berger, R.L., 2002, *Statistical Inference*, Duxbury, California.
- Dhillon, B.S., 1983, *Reliability Engineering in Systems Design and Operation*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Ebeling, C.E., 1997, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, The Mc Graw-Hill Companies Inc, Singapore.
- Evans, M., Hastings, N., dan Peacock, B., 2000, *Statistical Distribution*, John Wiley & Sons, New York.
- Franty, Y. K., 2008, *Penggunaan Order Statistics Dalam Eksperimen Life-testing (Studi Kasus di PT Phillips Ralin Electronic Surabaya)*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Hjorth, U., 1980, A reliability distribution with increasing, decreasing, constant, bathtub-shape failure rate, *Technometrics*, 22, 99-107.
- Hoyland, A., dan Rausand, M., 1994, *System Reliability Theori Models and Statistical Methods*, John Wiley and Sons, New York.
- Lai, C.D. dan Xie, M., 2003, A Modified Weibull distribution, *IEEE Transactions on Reliability*, 52, 33-37.
- Nelson, W., 1982, *Applied Life Data Analysis*, John Wiley, New York.
- Pal, S., 2005, Order statistics for some common hazard rate functions with an application, *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 201-210.
- Taylor, H.M. dan Karlin, S., 1998, *An Introduction to Stochastic Modeling*, Academic Press, New York.